

УДК 621.91

Е.К. Посвятенко, д-р техн. наук, Київ, Р.В. Будяк, канд. техн. наук, Вінниця,  
Н.І. Посвятенко, канд. техн. наук, Київ, Україна

## **ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ДЕТАЛЕЙ ПІСЛЯ КОМБІНОВАНОГО ПРОТЯГУВАННЯ**

*Проведено експериментальні дослідження комбінованого протягування. Доведено утворення текстури і пов'язаного з цим явищем зміцнення обробленої поверхні деталі, визначено залежності кута нахилу зерен текстури, та мікротвердості. Товщина текстурованого, після протягування, шару досягає 0,2 мм. Значення коефіцієнтів тертя на задній поверхні різального інструменту при протягуванні незміцнених сталей вибраного діапазону знаходиться в межах 0,5 – 0,7. Попереднє холодне деформаційне зміцнення знижує ці значення приблизно вдвоє (до 0,2 – 0,35). Деформуюче-різальне протягування сприяє виникненню у поверхневому шарі трубної заготовки сприятливих тангенціальних залишкових напружень першого роду.*

*Проведены экспериментальные исследования комбинированного режущего протягивания. Доказано образование текстуры и связанного с этим явлением упрочнения обрабатываемой поверхности детали, определены зависимости угла уклона зерен текстуры и микротвердости. Толщина текстурованного слоя, после режущего протягивания, может достигнуть 0,2 мм. Значение коэффициентов трения на задней поверхности режущего инструмента при протягивании неупрочненных сталей выбранного диапазона находится в пределах 0,5 – 0,7. Предыдущее холодное деформационное упрочнение уменьшает эти значения приблизительно вдвое (до 0,2 – 0,35). Деформирующе-режущее протягивание способствует образованию в поверхностном слое трубной заготовки благоприятных тангенциальных остаточных напряжений первого рода.*

*We have conducted experimental researches of combined pulling steel. The formation of texture and related to this phenomenon surface of detail are proved, the angle's dependences on grains's slope of the texture and the microhardness are determined. The thickness of the textured layer, after trailing, reaches 0,2 mm. The friction coefficients on the back surface of cutting instrument at trailing unfortified steels of the chosen range is within the limits of 0,5 - 0,7.*

*The previous cold deformation strengthening reduces these values approximately in half (to 0,2 - 0,35). The deforming-cutting pulling assists the superficial layer of skelp in favourable tangential remaining tensions of the first rate.*

**Вступ.** У сучасних сільськогосподарських машинах широко застосовується гідропривід. Виконавчим органом гідросистеми машини при цьому найчастіше служить один або кілька силових та маніпуляційних гідроциліндрів. Найбільш відповідальною і складною деталлю останніх з позиції виготовлення та ремонту є гільза, оскільки її отвір, що має, як правило, відношення довжини до діаметру понад 8–10, належить класу глибоких. Крім того, поверхня отвору повинна відповідати досить жорстким вимогам за показниками точності: некругість в межах Н7–Н9 і відхилення від прямолінійності твірної (нециліндричність) до 0,015–0,25 мм на 1000 мм

довжини отвору, а також шорсткість обробленої поверхні за показником  $Ra$  не вище 0,05–0,15 мкм.

Ресурсозберігаючий процес обробки глибоких отворів у гільзах гідроциліндрів, виготовлених з трубопрокату, доцільно будувати за схемою «комбіноване протягування – розкочування роликовим інструментом». Разом з тим, в ході розробки протяжного інструменту слід вирішити ще кілька малодосліджених проблем, пов'язаних у кінцевому результаті з надійністю виробу, зокрема: зниження негативного впливу на прямолінійність отвору «пластичного шарніру», підвищення міцності і стійкості робочих елементів протяжок, зменшення рівня вібрацій інструменту при обробці гільзи, посилення радіальної жорсткості останньої технологічними методами, а також розробку програми розрахунку комбінованого інструменту. Комплекс властивостей гільзи, у першу чергу їхньої поверхні і поверхневого шару, формує надійність гідроциліндрів.

**Мета роботи.** Основною метою роботи є дослідження фізико-механічних властивостей поверхні гільз після протягування та визначення залишкових напружень.

**Матеріал і результати досліджень.** Насамперед, це стосується мікротвердості і текстурованості поверхневого шару після комбінованого протягування або просто текстури. Цим терміном, у нашому випадку, визначається явище витягування окремого зерна структури пластичного матеріалу, а значить, і поверхневого шару і в цілому, під дією механічної деформації, яка виникає при русі інструменту. Тут слід обмовитись, що йтиметься про текстуру, яка створюється зубцями різальної частини протяжки, оскільки механізм зміни картини структури при деформуючому протягуванні вивчено О. М. Розенбергом та його учнями досить детально [1, 2].

Серед фазових складових залізовуглецевих сплавів схильними до пластичної деформації, а значить, до виникнення текстури при температурі, яка характерна для протягування, є тверді розчини вуглецю у залізі – ферит і аустеніт. Цементит, як хімічна сполука заліза з вуглецем, є твердим і крихким, тому при значних деформаціях руйнується. Перліт, як евтектоїдна суміш фериту і цементиту, деформується за рахунок пластин фериту. Виходячи зі сказаного, сталі обраного нами ряду, які мають у незагартованому стані феритно-перлітну структуру, при різальному протягуванні схильні до виникнення текстури.

Це добре видно із наведеної на рис. 1 мікрофотографії, де показана оброблена поверхня деталі зі сталі 10.

У роботі [3] подано модель утворення текстури при різальному протягуванні сталі 45, з якою можна погодитись, взявши її за основу. Проте слід зауважити, що і в цій моделі не враховано наростоутворення і вказано, що коефіцієнт тертя у зоні контакту задньої поверхні різального інструменту

з оброблюваним матеріалом знаходиться в діапазоні 0,07 – 0,15, тобто є явно заниженим.

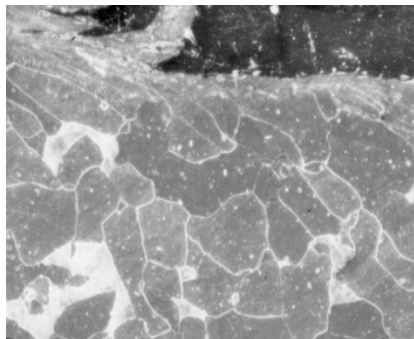


Рисунок 1 – Мікрофотографія обробленої поверхні деталі зі сталі 10 після протягування (х 300 )

Результати наших експериментів щодо утворення текстури і пов'язаного з цим явищем зміцнення обробленої поверхні деталі на сталях 10 і 35 подано на рис. 2.

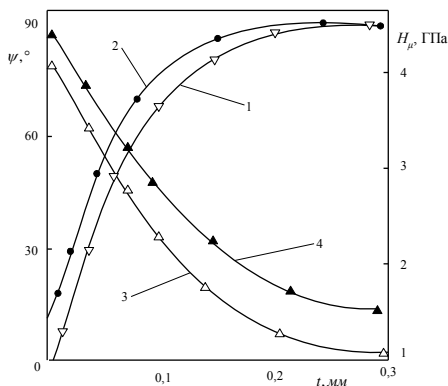


Рисунок 2 – Залежності кута нахилу зерен текстури  $\psi$  та мікротвердості  $H_\mu$  сталі 10 (відповідно криві 1, 3) та сталі 35 (відповідно криві 2, 4) при різальному протягуванні ( $v = 0,15$  м/с;  $S_z = 0,04$  мм; інструментальний матеріал – сталь Р6М5;  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\rho = 0,008$  мм; МОР – сульфозрезол)

Із рис. 1 і 2 витікає, що товщина текстурованого, після різального протягування, шару може досягати 0,2 мм. При цьому товщина додаткового

зміцнення поверхні деталі добре корелює з товщиною текстури. Значення коефіцієнтів тертя на задній поверхні різального інструменту при протягуванні незміцнених сталей вибраного діапазону знаходиться в межах  $\mu_3 = 0,5 - 0,7$ . Попереднє холодне деформаційне зміцнення знижує ці значення приблизно вдвоє (до 0,2 - 0,35). При цьому інтенсивність текстуроутворення різко падає. Таким чином, надзвичайно перспективною з позицій якості обробленої поверхні є схема елементарної комірки протяжки «деформуючий елемент – двох- трьохзуба різальна секція».

Що стосується залишкових напружень, то наші дослідження тут побудовані на наступних наукових положеннях попередників. По-перше, позитивну роль на надійність деталей машин виявляють стискаючі напруження у поверхневих шарах. По-друге, наскрізне деформуюче протягування з розбивкою загальної деформації на кілька джерел обов'язково призводить до виникнення стискаючих напружень. По-третє, низькошвидкісні процеси різання, зокрема, різальне протягування викликають розтягуючі залишкові напруження [1, 2, 4, 5]. Тому вплив комбінованої обробки, що поєднує дію на оброблену поверхню деформуючого елемента та зубців протяжки, залежатиме від того, який з цих двох факторів переважатиме.

Експерименти були проведені на деталях із сталі 35 з перерізом реального гідроциліндру, що використовувався у гідросистемах машин, за методикою М. М. Давиденкова [6]. Слід додати, що знак тангенціальних залишкових напружень першого роду якісно можна визначити шляхом розрізання кільця шириною 8 – 12 мм із досліджуваної гільзи після протягування отвору. Збільшення діаметру кільця після розрізання свідчить про превалювання стискаючих напружень і навпаки. Про перше можна також судити за усадкою отвору.

Для того, щоб виключити вплив спадковості виготовлення заготовок, усі три групи останніх перед експериментами були піддані нормалізації у вакуумі аби виключити втрати вуглецю з поверхні отвору. Травлення кільцевих зразків товщиною 10 – 12 мм під час експериментів здійснювалось тільки з боку отвору. Найменший крок замірів після травлення складав 0,005 мм (особливо біля поверхні отвору).

Із рис. 3, де подані результати експериментів, випливає, що різальне протягування незміцненої сталі 35 при підйомі на зуб  $S_z = 0,05$  мм призводить до виникнення у поверхневому шарі деталі розтягуючих тангенціальних залишкових напружень з максимумом  $\sigma_t = 350$  МПа на глибині порядку 0,02 мм (крива 1). Деформуюче протягування з натягами  $a_e = 0,2$  мм дозволяє отримати епюру сприятливих позитивних залишкових напружень з максимумом порядку  $\sigma_t = 490$  МПа на глибині 0,25 мм (крива 2). Практично такі ж значення залишкових напружень і профіль кривої дає комбіноване деформуюче-різальне протягування (крива 3).

На позитивний характер кривої 3 впливають два фактори: попереднє деформуюче протягування як генератор стискуючих напружень і деформуюче протягування як фактор холодного деформаційного зміцнення, який зменшує негативний вплив наросту на ці напруження.

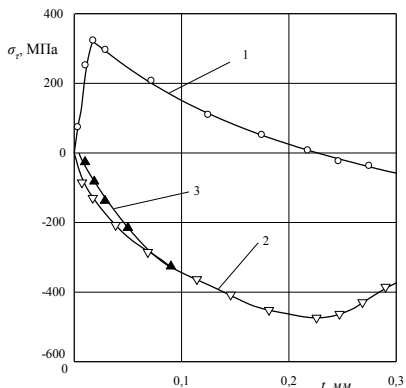


Рисунок 3 – Неповна епюра залишкових тангенціальних напружень першого роду  $\sigma_{\tau}$  у поверхневому шарі гільзи гідроциліндра зі сталі 35 перерізом 110 x 7,5 ( $t$  – товщина стінки деталі, мм) після різального ( $S_z = 0,05$  мм, крива 1), деформуючого ( $a_e = 0,2$  мм, крива 2) та комбінованого (крива 3) протягування

**Висновок.** Визначено вплив фізико-механічних та геометричних властивостей поверхні гільз після комбінованого протягування, що передувє фінішній розкатці, на надійність гідроциліндрів. Товщина холодного зміцнення і текстурованості поверхневого шару сягає 0,2 мм, а коефіцієнт тертя на задню поверхню різального інструменту зубця протяжки знижується попереднім холодним деформаційним зміцнення з 0,5 – 0,7 до 0,2 – 0,35. Це дозволяє рекомендувати схему елементарної коміркі комбінованої протяжки у вигляді: «деформуючий елемент – двох-трихзуба секція». Деформуюче-різальне протягування сприяє виникненню у поверхневому шарі трубної заготовки сприятливих тангенціальних залишкових напружень першого роду.

**Список використаних джерел:** 1. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, Э. И. Гриценко, Е. К. Посвятенко. – К. : Наукова думка, 1977. – 188 с. 2. Розенберг А. М., Розенберг О. А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – К. : Наук. думка, 1990. – 320 с. 3. Канарчук В. Є. Посвятенко Е. К., Иванов Ю. М. Деформаційне зміцнення конструкційних і легованих сталей // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. – К. : НТУ, 2002. – Вип. 13. – С. 7–12. 4. Проскуряков Ю. Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. – М. : Машиностроение, 1971. – 208 с. 5. Остаточные напряжения и точность деталей, обработанных дорнованием / Ю. Г. Проскуряков, А. Н. Исаев, Л. В. Попов, Ф. Ф. Валяев // Вестник машиностроения. – 1973. – № 7. – С. 57–60. 6. Розенберг О. А., Посвятенко Э. К., Смагленко Ф. П. Влияние деформирующей обработки на формирование остаточных напряжений

в поверхностных слоях деталей // Технология и автоматизация машиностроения. – 1975. – Вып. 15. – С. 82–84.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kachestvo poverhnosti, obrabotannoj deformirujushhim protjagivaniem / A. M. Rozenberg, O. A. Rozenberg, Je. I. Gricenko, E. K. Posvjatenko. – K. : Naukova dumka, 1977. – 188 s. 2. Rozenberg A. M., Rozenberg O.A. Mehanika plasticheskogo deformirovanija v processah rezanija i deformirujushhego protjagivania. –K. : Nauk.dumka, 1990.– 320 s. 3. Kanarchuk V. C. Posvjatenko E. K., Ivanov Ju. M. Deformacijne zmicnennja konstrukcijnih i legovanih stalej // Sistemni metodi keruvannja, tehnologija ta organizacija virobnictva, remontu ta ekspluatacij avtomobiliv. – K. : NTU, 2002. – Vip. 13. – S.7–12. 4. Proskurjakov Ju.G. Tehnologija uprochnjajushhe-kalibrujushhej i formoobrazujushhej obrabotki metallov. – M. : Mashinostroenie, 1971. – 208 s. 5. Ostatochnye naprjazhenija i tochnost' detalej, obrabotannyh dornovaniem / Ju. G. Proskurjakov, A. N. Isaev, L. V. Popov, F. F. Valjaev // Vestnik mashinostroenija. – 1973. – № 7. – S. 57–60. 6. Rozenberg O. A., Posvjatenko Je. K. , Smaglenko F. P. Vlijanie deformirujushhej obrabotki na formirovanie ostatochnyh naprjazhenij v poverhnostnyh slojah detalej // Tehnologija i avtomatizacija mashinostroenija. – 1975. – Vyp. 15. – S. 82–84.

*Поступила в редколлегию 17.07.15*